

Рис. 4 – Зависимость коэффициента гидравлического трения от размера канала

Результаты исследований, приведенные на рис.4, свидетельствуют о необходимости учета влияния размеров поперечного сечения канала на величину коэффициента гидравлического трения.

1.Большаков В.А. Справочник по гидравлике. – К.: Вища школа, 1977. – С.280.

2.Ишлинский А.Ю., Черный Г.Г. Вихри и волны: Сб. статей / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – С. 336.

Получено 04.05.2000

УДК 697.94

Ю.К.ПРИПОТЕНЬ

Полтавський державний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

## АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ФІЛЬТРАЦІЇ ПОВІТРЯ ТА ЇХ ОЦІНКА

Розглянуто методи розрахунку кількості повітря, що надходить до приміщення чи виходить з нього внаслідок фільтрації крізь вікна й двері. Проаналізовано існуючі методи розрахунку, визначено зону застосування кожної з них. Запропонована власна методика.

При фільтрації повітря втрати тиску при його проходженні крізь щілини вікон або дверей розраховують за допомогою рівнянь [1]

$$\Delta P = S_{\text{щ}} G^2, \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – різниця тиску по обидва боки щілини;  $G$  – кількість повітря, що фільтрується крізь щілину;  $S_{\text{щ}}$  – характеристика щілини.

$$S_{\text{щ}} = \frac{\sum \xi}{26 \cdot 10^6 \cdot \rho \cdot f_{\text{щ}}^2}, \quad (2)$$

де  $f_{щ}$  – площа щілини;  $\rho$  – густина повітря;  $\sum \xi$  – сума коефіцієнтів місцевого опору за ходом повітря. При одинарному заскленні вікон рекомендується приймати її рівною 4, при подвійному – 8 [2].

Товщину щілини при розрахунку її площі рекомендується приймати: для зачинених дверей у стандартному виконанні – 5 мм, для вікон, що відкриваються, – 2 мм, для глухих вікон – 1 мм.

В інженерних розрахунках інфільтрацію крізь щілину умовно замінюють інфільтрацією крізь всю площу вікна [1], використовуючи рівняння

$$\Delta P = s_{\text{вік}} G^2 / F_{\text{вік}}, \quad (3)$$

де  $s_{\text{вік}}$  – питома характеристика опору вікна;  $F_{\text{вік}}$  – площа вікна.

Процес фільтрації повітря через вікна чи двері не завжди проходить у квадратичній зоні. Тому деякі автори [3, 4] пропонують для характеристики процесу фільтрації повітря використовувати рівняння:

$$G = \frac{1}{R_{\text{вік}}} \left( \frac{\Delta P}{10} \right)^{2/3} F_{\text{вік}}, \quad (4)$$

де  $R_{\text{вік}}$  – опір повітропроникненню вікна, визначений при нормативній різниці тиску 10 Па.

Якщо модифікувати цю залежність, то отримаємо вираз

$$\Delta P = 10 \cdot (R_{\text{вік}})^{1.5} G^{1.5} / F_{\text{вік}} = s_{\text{вік}} G^{1.5} / F_{\text{вік}}. \quad (5)$$

Результати розрахунків, виконаних за наведеними методиками, відрізняються один від одного. Так, для неутепленого вікна (товщина щілини 2 мм) розмірами 1×1 м за першою методикою (формула (1)) при різниці тиску 40 Па інфільтрація складає 147 кг/год, а за другою (формула (3)) – 53,5 кг/год. Для вікна, утепленого губчастою гумою, за другою методикою при різниці тиску 40 Па інфільтрація становить 14,14 кг/год, а за третьою (формула (5)) – 15,75 кг/год.

Проаналізуємо процес фільтрації повітря крізь вікна та двері з метою оцінки достовірності кожного методу. Для цього щілину у вікні розіб'ємо на  $n$  каналів з еквівалентним діаметром  $d$  кожного. Приймемо, що  $d$  дорівнює товщині щілини  $\delta$ . Глибина щілини є довжиною каналу  $l = l_n + l_{\text{осн}}$  (рис.1).

Розглянемо процес руху повітря крізь окремий канал. У даних умовах доцільно застосувати відому модель витікання рідини із “необмеженого” резервуара через “короткий” трубопровід [5]. Втрати тиску для такої моделі складаються з втрат на початковій ділянці й втрат на основній ділянці:

$$\Delta P = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l_n}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} + 2,41 \cdot \frac{\rho v^2}{2} + \lambda \cdot \frac{l_{осн}}{d} \cdot \frac{\rho v^2}{2} + \Sigma \xi \frac{\rho v^2}{2} + \frac{A}{Re} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (6)$$

де  $Re$  – критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu};$$

$l_n$  – довжина початкової ділянки

$$l_n = 0,04 \cdot d \cdot Re;$$

$\nu$  – швидкість руху повітря;  $\nu$  – кінематична в'язкість повітря;  $\lambda$  – гідравлічний коефіцієнт тертя;  $l_{осн}$  – довжина основної ділянки;  $\Sigma \xi$ ,  $A$  – характеристики місцевих опорів.

Перші дві складові характеризують втрати тиску на початковій ділянці, третя – втрати тиску за довжиною на основній ділянці, четверта – втрати тиску на місцевий опір у квадратичному режимі, п'ята – додатак на втрати тиску на місцевий опір при відхиленні режиму від квадратичного. З рис.1 видно, що місцевим опором основної ділянки буде лише вихід з каналу в необмежений простір. Для нього  $\xi=1$ ,  $A=30$  [5, 6].

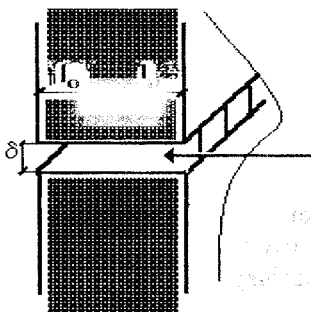


Рис.1

Гідравлічний коефіцієнт тертя  $\lambda$  залежить від режиму руху. При ламінарному режимі ( $Re < 2320$ ) він розраховується за формулою

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (7)$$

при інших режимах

$$\lambda = f(Re^{0,25}).$$

Таким чином, залежність витрат повітря від втрат тиску буде відрізнятися від квадратичної лише при ламінарному режимі.

Розрахунками встановлено, що рух повітря у каналі буде ламінарним, якщо його діаметр менше 1,5 мм, а перепад тиску – до 90 Па. За межами цього діапазону можна застосовувати квадратичну залежність (1). У межах цього діапазону для описання руху повітря застосуємо формулу (6) і представимо процес фільтрації у такій формі:

$$\Delta P = a_1 \cdot v + a_2 \cdot v^2, \quad (8)$$

де  $a_1, a_2$  – коефіцієнти, що не залежать від швидкості руху повітря і знаходяться з рівняння (6):

$$a_1 = \frac{\rho \cdot v}{2d} \left( 64 \frac{1}{d} + \Sigma A \right); \quad a_2 = \frac{\rho}{2} \left( 2.41 \frac{1}{d} + \Sigma \xi \right).$$

Така форма запису не дає повного уявлення про ступінь залежності перепаду тиску від швидкості, тому замінимо її на наближений варіант:

$$\Delta P \approx a \cdot v^x, \quad (9)$$

де  $a$  та  $x$  – невідомі коефіцієнти, які також не залежать від швидкості. Для їх знаходження прийнемо, що в діапазоні перепаду тиску від 0 до  $P$  сума квадратів відхилень значень, розрахованих за наближеною формулою (9), від точної формули (8) є мінімальною.

У табл.1 наведено значення  $a$  та  $x$  при різних еквівалентних діаметрах каналу та наступних даних: густина повітря  $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ , кінематична в'язкість повітря –  $15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Ці дані справедливі у діапазоні перепадів тиску від 0 до 50 Па.

Таблиця 1 – Коефіцієнти  $a$  та  $x$  рівняння (9)

d, мм	0,3	0,5	0,8	1
a	38,137	14,854	6,677	4,95
x	1,065	1,265	1,545	1,663

Після заміни швидкості на кількість повітря, що проходить крізь щілину, одержимо вираз

$$\Delta P = S G^x, \quad (10)$$

де характеристика щілини вікна  $S$  дорівнює

$$S = \left( \frac{1}{b_{\text{щ}}/2} \right)^x S', \quad (11)$$

де  $b_{\text{щ}}$  – довжина щілини;  $S'$  – частина гідравлічної характеристики, числове значення якої наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Характеристика вікна  $S'$

d, мм	0,3	0,5	0,8	1
$S', \text{ Па м}^x/(\text{кг/год}^x)$	147,504	37,07	10,44	0,12
x	1,065	1,265	1,545	1,663

Формула (10) при таких коефіцієнтах може використовуватися лише для вікон з прямою щілиною. Якщо для щільнішого прилягання на шляху проходження повітря є відступ (див. рис.2), то коефіцієнти  $S'$  та  $x$  зміняться.

Коефіцієнт місцевого опору повороту на  $90^\circ \xi = 1,2$ , поправка на неквадратичний режим  $A=400$  [5, 6]. Режим руху повітря буде ламінарним при розмірі щілини до 3 мм і в діапазоні можливих перепадів тиску до 100 Па. Для діапазону перепадів тиску до 50 Па для щілини з відступом (рис.2) коефіцієнти  $S'$  та  $x$  наведені в табл.3.

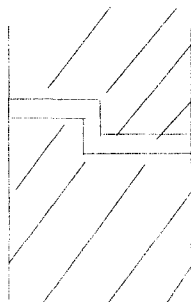


Рис 2

Таблиця 3 – Коефіцієнти  $S'$  та  $x$  для щілини вікна з відступом

d, мм	0,5	1	2	3
$S'$ , Па м <sup>3</sup> /(кг/год <sup>3</sup> )	5,66155	0,6473	0,06574	0,01908
x	1,144	1,403	1,6538	1,756

Для порівняння різних методик розглянуто випадок неутепленого вікна розмірами 1×1 м при перепаді тиску 40 Па. Результати цих розрахунків наведені в табл.4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків за різними методиками

Характеристика вікна	Витрата повітря, кг/год при розрахунку за формулою				
	(1)	(3)	(5)	за запропонованою (9)	
				з прямою щілиною	з відступом
Неутеплене вікно, що відкривається, $\delta=2$ мм	147	53,5	—	147	96,5
Неутеплене вікно, що не відкривається, $\delta=1$ мм	73	—	5	65,8	37,8

Виконаний аналіз дає змогу стверджувати, що рівняння (1) можна застосовувати для неутеплених вікон з прямою щілиною при перепаді тиску понад 20 Па, а також для всіх типів дверей; рівняння (3) та (5) – для утеплених вікон; запропоновану нами залежність – для неутеплених вікон різної конструкції з різним ступенем щільності прилягання рами вікна при ламінарному режимі руху повітря.

1. Рекомендации по расчету инфильтрации. – М.:ОТРД ЦНИПИАСС, 1972. – 36 с.

2. Богословский В.Н. Отопление и вентиляция. Ч. II. Вентиляция. – М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.
3. Богословский В.Н., Сканава. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.
4. СНиП II-3-79\*\* Строительная теплотехника. – М., 1986.
5. Теоретические основы теплотехники. Справочник под ред. В.А.Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 560 с.
6. Альтшуль А.Д. Гидравлическое сопротивление. – М.: Стройиздат, 1973.

*Отримано 14.04.2000*

УДК 697.32

А.Г.КРАВЕЦ, д-р техн. наук, О.В.БОРЗЕНКО

*Донбасская государственная академия строительства и архитектуры, г.Макеевка*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛЬНОСТИ НА ГОРЕНИЕ ВЫСОКОЗОЛЬНОГО УГЛЯ**

Приводятся результаты исследований по определению влияния зольности на горение высокозольного угля. Показано, что с увеличением зольности ядро факела удаляется от устья горелки, снижается температура в ядре факела и возрастает температура газов на выходе из камеры сгорания.

Пути улучшения воспламенения факела и горения высокозольных углей Донбасса особенно не отличаются от общепринятых для сжигания низкосортных и низкорекреационных топлив [1]. Интенсификация воспламенения твердого топлива сводится, по существу, к интенсификации подготовки угольных частиц к сжиганию, т.е. к ускорению роста их температуры при одновременном обеспечении подвода достаточного количества окислителя.

Ускорить рост температуры частиц можно различными путями, например, увеличением интенсивности подмешивания высокотемпературных топочных газов. Другой способ ускорения прогрева вводимой аэросмеси – повышение температурного уровня процесса, что, как правило, достигается увеличением теплового напряжения сечения топки. Такой же эффект можно получить при повышении температуры аэросмеси. Воспламенение факела улучшается также при утонении помола топлива. Существуют и другие способы интенсификации воспламенения пылеугольного факела. Однако все они имеют те или иные ограничения или встречают технические трудности при реализации.

Анализ показывает, что в условиях эксплуатации наиболее доступными методами являются увеличение крутки факела, утонение помола и повышение температуры аэросмеси. Влияние зольности топлива на сжигание и выгорание факела изучали на огневом горелочном стенде при сжигании экибастузского угля с зольностью от 40 до 60%.